

Mgr Przemysław Strachowski

Autoreferat rozprawy doktorskiej

**Magnetyczne kompozytowe materiały węglowe dedykowane do usuwania związków organicznych  
i jonów metali ciężkich**

(Magnetic composite carbon materials dedicated to the removal of organic compounds and heavy metal ions)

Promotor: dr hab. Michał Bystrzejewski, prof. UW

Adsorpcja, czyli spontaniczny proces agregacji cząsteczek na powierzchni ciała stałego, jest znana i stosowana od stuleci. Współcześnie, obok metod biologicznych, procesy adsorpcji ciągle znajdują szerokie zastosowanie zarówno w oczyszczaniu ścieków jak i uzdatnianiu wody. Do niewątpliwych zalet procesów adsorpcyjnych należą możliwość usuwania szerokiego spektrum zanieczyszczeń, takich jak jony metali oraz związki organiczne o zróżnicowanej masie cząsteczkowej. Materiały, które rutynowo stosuje się jako adsorbenty, to m.in. żele krzemionkowe, węgle aktywne, żywice jonowymiennne oraz zeolity. Aktualnie badane i udoskonalane są adsorbenty, które wykazują selektywność względem danego związku lub grupy związków, lub umożliwiają efektywną adsorpcję zarówno jonów metali ciężkich, jak i związków organicznych. Należy zauważyć, że materiały o poszerzonych możliwościach adsorpcyjnych są zwykle adsorbentami kompozytowymi, a za ich ostateczne właściwości odpowiada synergiczne połączenie poszczególnych komponentów.

Prowadzenie procesu adsorpcji z zastosowaniem zawieszonego w oczyszczanym roztworze adsorbentu, jest metodą korzystniejszą ze względu na długi kontakt adsorptywu z powierzchnią adsorbentu. Wadą tego typu podejścia może być utrudniona separacja adsorbentu z oczyszczanego medium, gdyż wymaga to zastosowania dodatkowych, czasochłonnej i energochłonnej operacji jednostkowych, takich jak filtracja, sedymentacja lub wirowanie. Odpowiedzią na powyższy problem okazały się adsorbenty kompozytowe, w których jednym z komponentów jest faza magnetyczna, nadająca materiałowi mobilność w obecności zewnętrznego pola magnetycznego. Takie podejście znacząco ułatwia separację materiału po zakończonym procesie. Takie materiały kompozytowe składają się z aktywnej adsorpcyjnie matrycy, która jest zbliżona swoimi właściwościami do charakterystyki węgla aktywnego, żywicy jonowymiennych, polimerów aktywnych adsorpcyjnie czy zeolitów. Faza magnetyczna z kolei (żelazo, kobalt, nikiel, ferryty oraz stopy metali) jest unieruchomiona w sieci porów matrycy.

Celem przeprowadzonych badań było zaprojektowanie i optymalizacja warunków otrzymywania kompozytowych adsorbentów magnetycznych, dedykowanych do adsorpcji związków organicznych oraz jonów metali z roztworów wodnych. Jako adsorpcyjnie aktywne matryce kompozytów zastosowano szereg materiałów, takich jak: (i) aktywowane karbonizaty z sacharozy, glukozy oraz poli(tereftalanu etylenu), (ii) skarbonizowany kserożel rezorcynowo-furfuralowy, (iii)

organiczny kserożel rezorcynowo-2-tiofenokarboaldehadowy oraz (iv) usieciowany kopolimer styren-diwinylbenzen. Jako wypełniacz kompozytu zastosowano magnetyczne nanokapsułki węglowe, czyli materiał o strukturze rdzeń-otoczka, w którym rolę magnetycznego rdzenia pełni nanokryształ żelaza lub węgla żelaza, otoczony płaszczem grafitowym. Ogólną strategią syntezy przedmiotowych kompozytów było *nadbudowywanie* matrycy, wokół magnetycznych nanokapsulek węglowych. Otoczka węglowa chroni magnetyczne jądro materiału przeciwko czynnikom zewnętrznym, nie ograniczając przy tym oddziaływań między materiałem, a zewnętrznym polem magnetycznym. Zastosowanie tego typu wypełniacza, nadaje kompozytowi pożądaną mobilność oraz dodatkowo gwarantuje wysoką stabilność chemiczną fazy magnetycznej, co zostało dowiedzione badaniami odporności zsyntezowanych materiałów na działanie roztworów kwasu solnego. Aktywność adsorpcyjna zastosowanych matryc węglowych, została osiągnięta poprzez ich aktywację z użyciem KOH,  $\text{ZnCl}_2$  oraz  $\text{CO}_2$ . Z kolei, w przypadku kompozytów z matrycami polimerowymi, za adsorpcję odpowiedzialna była obecność jonowymiennych grup funkcyjnych, wprowadzonych poprzez reakcję sulfonowania otrzymanych materiałów.

Materiały z matrycą węglową zostały sprawdzone pod kątem efektywności adsorpcyjnego usuwania fenolu, 2-chlorofenolu i 4-chlorofenolu z roztworów wodnych. Z kolei kompozyty organiczne i polimerowe zastosowano do adsorpcji jonów  $\text{Fe(III)}$  i  $\text{Cu(II)}$ . Uzyskane wyniki porównano z charakterystyką adsorpcyjną szeregu materiałów, opisanych w literaturze przedmiotu i stwierdzono, że w wielu przypadkach, pojemności adsorpcyjne badanych kompozytów osiągnęły wyższy lub porównywalny poziom pojemności adsorpcyjnych. Wykazano, że pojemności adsorpcyjne otrzymanych kompozytów, zależą od rodzaju prekursora i czynnika aktywującego, ale przede wszystkim od zawartości nieaktywnej adsorpcyjnie fazy magnetycznej. Wzrost zawartości CEMNPs w otrzymanych kompozytach zawsze prowadził do niższej pojemności adsorpcyjnej, ale z drugiej strony przyspieszał kinetykę procesu adsorpcji. Badane materiały wykazują wysoki potencjał regeneracyjny, który pozwala na ich kilkukrotne użycie, po zastosowaniu prostej rozpuszczalnikowej metody regeneracji. Możliwość efektywnej regeneracji materiałów, wskazuje na słabe energie oddziaływań adsorbat-adsorbent, co znalazło odzwierciedlenie w badaniach termodynamicznych, których wyniki jednoznacznie wskazywały na fizyczny charakter adsorpcji.

W wyniku badań uzyskanych podczas realizacji pracy doktorskiej, powstały cztery prace, opublikowane w *Colloids and Surfaces A, New Journal of Chemistry* (2 prace) oraz *Separation Science and Technology*. Opracowane materiały adsorpcyjne są także przedmiotem polskiego i europejskiego zgłoszenia patentowego.